

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОМПОНЕНТ, МАГНИТНОГО ПОЛЯ И АККРЕЦИИ ПОЛЯРА V379 VIR

М. В. Сусликов<sup>1</sup>, А. И. Колбин<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет,

<sup>2</sup>Специальная астрофизическая обсерватория РАН

В данной работе выполнено фотометрическое и спектральное исследование полярa V379 Vir. При определении параметров системы использовались метод моделирования ИК кривых блеска на основе модели точечного источника циклотронного излучения, метод синтетической фотометрии для описания наблюдаемого спектрального распределения энергии, а также метод моделирования магнитной кривой, полученной из величины зеемановского расщепления линии  $H\beta$ . Нам удалось оценить температуру белого карлика  $T_{\text{eff}} = 11\,450$  K, массы и радиусы главной и вторичной компоненты:  $M_1 = 0.696 M_{\odot}$ ,  $R_1 = 0.011 R_{\odot}$ ,  $M_2 = 0.105 M_{\odot}$ ,  $R_2 = 0.14 R_{\odot}$ . Разделение компонент составило порядка 0.6 а. е., а наклонение орбитальной плоскости  $i$  лежит в диапазоне  $47\text{--}60^\circ$ .

## DETERMINATION OF THE PARAMETERS OF POLAR V379 VIR COMPONENTS, MAGNETIC FIELD AND ACCRETION

М. V. Suslikov<sup>1</sup>, A. I. Kolbin<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Kazan (Volga-region) Federal University, <sup>2</sup>Special Astrophysical Observatory of RAS

In this work we performed a photometric and spectral study of the polar V379 Vir. We used the modeling of the IR light curves based on a simple model of cyclotron radiation source, the method of synthetic photometry to fit the observed spectral distribution of the energy, as well as the modeling of the magnetic curve obtained from Zeeman splitting of the  $H\beta$  line to determine the parameters of the system. We managed to estimate the temperature of the white dwarf  $T_{\text{eff}} = 11\,450$  K, the masses and radii of the primary and secondary components:  $M_1 = 0.696 M_{\odot}$ ,  $R_1 = 0.011 R_{\odot}$ ,  $M_2 = 0.105 M_{\odot}$ ,  $R_2 = 0.14 R_{\odot}$ . The separation of the components was about 0.6 AU, and the inclination  $i$  lies in the range  $47\text{--}60^\circ$ .

## Введение

Поляры (переменные типа AM Her) представляют собой тесные двойные системы, состоящие из сильно замагниченного белого карлика ( $B \sim 10^7\text{--}10^8$  Гс) и холодной звезды главной последовательности, заполняющей свою полость Роша. Вещество вторичной компоненты аккрецирует на поверхность белого карлика через точку Лагранжа  $L_1$ . При достижении аккреционной струей области, где давление магнитного поля  $B^2/8\pi$  начинает доминировать над гидродинамическим давлением потока  $\rho v^2$ , происходит захват ионизованного вещества, которое начинает движение вдоль магнитных силовых линий. В результате вещество выпадает вблизи магнитного полюса белого карлика, образуя на его поверхности горячую ( $T \sim 10$  кэВ) ударную область, являющуюся источником рентгеновского тормозного излучения и циклотронного излучения в оптическом диапазоне.

Первые исследования системы V379 Vir [1] отождествили ее с взаимодействующей короткопериодической переменной с магнитным белым карликом и коричневым карликом. В статье [2] было установлено наличие избыточного излучения в ближнем инфракрасном

диапазоне, что указывает на присутствие холодного коричневого карлика спектрального класса L5–L7 с температурой фотосферы менее 1700 К. Исследование системы в рентгеновской области [3] выявило слабый темп аккреции около  $10^{-14} M_{\odot}/\text{год}$ .

В нашей ранней работе [4] в спектре V379 Vir было обнаружено наличие четкого земановского расщепления компонент линии  $H_{\beta}$ , а также их смещение в результате квадратичного эффекта Зеемана. Благодаря этому удалось оценить величину расщепления и на ее основе построить кривую изменения магнитного поля белого карлика, которая выявила периодическую переменность в интервале 4.5–7.5 МГц. В предположении белого карлика со смещенным диполем мы выполнили моделирование магнитной кривой.

## Моделирование кривых блеска в ИК

Нами использовались  $JHK_s$  кривые блеска, полученные Debes и др. [2]. Моделирование кривых блеска проводилось на основе простой модели белого карлика с точечным источником циклотронного излучения и с дипольной структурой магнитного поля. Так же как и в [5], предполагалась однородность источника по температуре и плотности. Ориентация магнитного диполя определена путем моделирования магнитной кривой, а координаты источника циклотронного излучения находились описанием инфракрасных кривых блеска с использованием взвешенного метода наименьших квадратов и алгоритма оптимизации Нелдера–Мида. Сравнение наблюдаемых и теоретических ИК кривых блеска представлено на рис. 1. Отметим, что в ходе аппроксимации существует большая неоднозначность в определении параметров модели.

## Спектральное распределение энергии

Имея фотометрические наблюдения V379 Vir в широком диапазоне, можно получить спектральное распределение энергии исследуемого источника, преобразовав звездные величины в абсолютные потоки на эффективной длине волны фильтра. С другой стороны, плотность потока вычисляется путем свертки теоретического спектра с кривой фотометрической полосы пропускания. В качестве теоретического спектра мы выбрали сетки моделей водородного белого карлика [6]. Для описания наблюдаемого распределения спектральной плотности потока использовался взвешенный МНК. В процессе минимизации определялись температура фотосферы белого карлика  $T_{\text{eff}} = 11\,450 \pm 166$  К и его угловой радиус. Сравнение полученных наблюдаемых и синтетических потоков на рис. 2 показывает наличие избытка излучения в ИК, обусловленного вкладом излучения коричневого карлика. Поскольку в данной системе наблюдается слабый темп аккреции, а в спектрах отсутствуют характерные эмиссии, вклад газовой составляющей в интегральный поток излучения оказывается незначительным. Ошибки определения потоков рассчитывались на основе метода Монте-Карло.

## Определение параметров V379 Vir

По полученному угловому радиусу V379 Vir и параллаксу из каталога GAIA мы определили радиус белого карлика  $R_1 = 0.0113 \pm 0.0002 R_{\odot}$ . Решая численным методом известное соотношение между радиусом и массой для белых карликов [7], можно получить  $M_1 = 0.696 \pm 0.018 M_{\odot}$ . В работе [1] из кривой лучевых скоростей получена оценка полуамплитуды  $K'_2$  для пятна коричневого карлика. Учитывая поправку перехода к центру вторичной компоненты, нами получено  $K_2 = 346.8 \pm 21.3$  км/с. На основе уточненного нами в [4] орбитального периода  $P_{\text{orb}}$  и  $K_2$  можно вычислить функцию масс главной компоненты:

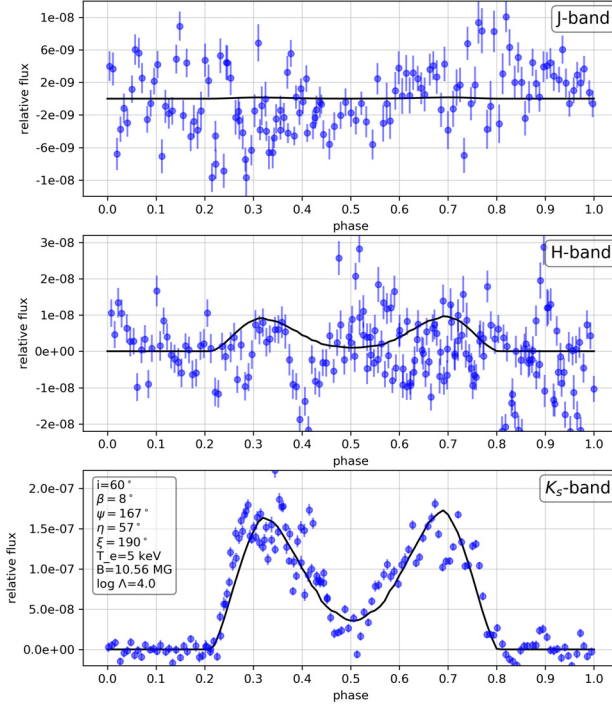


Рис. 1. Сравнение модельных и наблюдаемых кривых блеска V379 Vir в  $J$ -,  $H$ -,  $K_s$ -полосах. Параметры модели указаны на графике

$$f(M_1) = 1.0385 \cdot 10^{-7} P_{orb} K_2^3, \quad (1)$$

с другой стороны,

$$f(M_1) = \frac{M_1^3}{(M_1 + M_2)^2} \sin^3 i. \quad (2)$$

Из условия заполнения коричневым карликом полости Роша и эволюционной связью между радиусом вторичной компоненты и ее массой из эволюционных треков [8]  $R_2(M_2) = R_L(M_2, M_1)$ , решая совместно уравнение (2), мы определили угол наклона плоскости орбиты в диапазоне  $47$ – $60^\circ$ . Таким образом, по формуле (2) получили, что  $M_2 = 0.10471 \pm 0.00003 M_\odot$ ,  $R_2 = 0.14040 \pm 0.00004 R_\odot$ . Из третьего закона Кеплера мы вычислили разделение компонент  $A = 0.609 \pm 0.004$  а. е.

На основании уточненного угла наклона орбитальной плоскости  $i$  было выполнено моделирование магнитной кривой аналогично [4]. Полученные параметры модели, описывающей наблюдения: угол наклона оси магнитного диполя  $\beta = 29^\circ$ , долгота магнитного полюса  $\psi = 355^\circ$ , напряженность на магнитном полюсе  $B_m = 11.7$  МГс, смещение диполя  $a = 0.15$ .

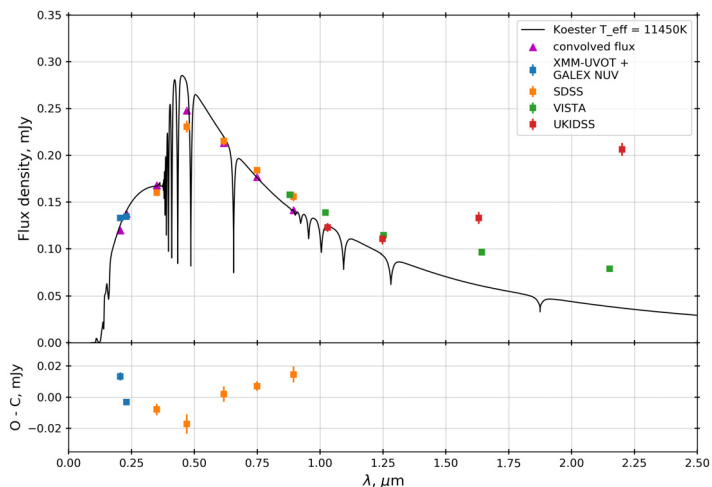


Рис. 2. Распределение спектральной плотности потока V379 Vir

## Библиографические ссылки

- [1] *Schmidt G. D., Szkody P., Silvestri N. M. et al.* Discovery of a Magnetic White Dwarf/Probable Brown Dwarf Short-Period Binary // *Astrophys. J.* — 2005. — Vol. 630. — P. 173–176.
- [2] *Debes J. H., Lopez-Morales M., Bonanos A. Z., Weinberger A. J.* Detection of a variable infrared excess around SDSS J121209.31+013627.7 // *Astrophys. J.* — 2006. — Vol. 647. — P. 147–150.
- [3] *Stelzer B., Martino D. de, Casewell S. L. et al.* X-ray orbital modulation of a white dwarf accreting from an L dwarf. The system SDSS J121209.31+013627.7 // *Astron. Astrophys.* — 2017. — Vol. 598. — P. L6 5pp.
- [4] *Suslikov M. V., Kolbin A. I., Borisov N. V., Shimansky V. V.* Magnetic field study of the polar V379 Vir // *Ground-Based Astronomy in Russia. 21st Century* / ed. by I. I. Romanyuk, I. A. Yakunin, A. F. Valeev, D. O. Kudryavtsev : Proceedings of the All-Russian Conference, Nizhnii Arkhyz 21–25 sep. 2020 y. — Nizhnii Arkhyz, Karachai-Cherkessian Republic : Special Astrophysical Observatory RAS, 2020. — P. 297.
- [5] *Kolbin A. I., Borisov N. V.* Картирование белых карликов в системах типа AM Her // *Письма в Астрон. журн.* — 2020. — Vol. 46. — P. 868–882.
- [6] *Koester D.* White dwarf spectra and atmosphere models // *Memorie della Societa Astronomica Italiana.* — 2010. — Vol. 81. — P. 921–931.
- [7] *Nauenberg M.* Analytic Approximations to the Mass-Radius Relation and Energy of Zero-Temperature Stars // *Astrophys. J.* — 1972. — Vol. 175. — P. 417.
- [8] *Girardi L., Bressan A., Bertelli G., Chiosi C.* Evolutionary tracks and isochrones for low- and intermediate-mass stars: From 0.15 to 7  $M_{\odot}$ , and from  $Z = 0.0004$  to 0.03 // *Astron. Astrophys., Suppl. Ser.* — 2000. — Vol. 141. — P. 371–383.